

SPECIAL CEMENTS OF CHINA

中国特种水泥

王燕谋 苏慕珍 路永华 章银祥 • 编著



中国建材工业出版社

SPECIAL CEMENTS OF CHINA

中国特种水泥

王燕谋 苏慕珍 路永华 章银祥 • 编著

中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

中国特种水泥/王燕谋等编著. —北京:中国建材工业出版社, 2012. 11

ISBN 978-7-5160-0228-5

I. ①中… II. ①王… III. ①特种水泥—中国 IV. ①TQ172. 79

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第185228号

内 容 简 介

本书全面、系统地介绍了当今中国的特种水泥,除绪论外,设特种硅酸盐水泥、铝酸盐水泥、硫铝酸盐水泥和其他类水泥四个篇章。在介绍重要特种水泥时,一般先是其物化理论,然后是其生产技术、性能与应用。书中既有中国特种水泥各品种的发展历史,又反映了其最新科技成就。

本书可作为水泥、建筑工程和其他相关行业专业人员的科技读物,也可作为相关院校的教学用书。

中国特种水泥

王燕谋 苏慕珍 路永华 章银祥 编著

出版发行:中国建材工业出版社

地 址:北京市西城区车公庄大街6号

邮 编:100044

经 销:全国各地新华书店

印 刷:北京雁林吉兆印刷有限公司

开 本:880mm×1230mm 1/32

印 张:11.5

字 数:336千字

版 次:2012年11月第1版

印 次:2012年11月第1次

定 价:96.00元

本社网址:www.jcbs.com.cn

本书如出现印装质量问题,由我社发行部负责调换。联系电话:(010)88386906

前 言

中华人民共和国成立后,特种水泥突飞猛进地发展,形成了一个庞大的具有特色的品种体系。本书全面介绍中国的特种水泥。为更好地介绍特种水泥,作者对众多品种科学地进行了梳理并系统化;叙述中理论与实用并举,既突出重点又照顾到完整性;在内容上不仅有性能与应用,还有生产技术。使该书具有明显的特点。

中国特种水泥的系统化是通过分类来实现的。本书按国家标准 GB/T 4131—1997《水泥的命名、定义和术语》所规定的原则对特种水泥进行分类,并按此分类设置各篇章,揭示了品种间的内在联系,避免了随意性,提高了通用性。

水泥的物理性能是内部化学作用的外部表象。原料的配制、熟料的烧成、水泥的制备和使用,都离不开化学理论的指导;水泥品种的创新往往首先是理论上的突破;在特种水泥发展进程中,物化理论占有重要地位。本书介绍重要特种水泥时一般都先叙述其物化理论,不仅提高了学术水平,而且有利于读者正确理解和把握该种水泥的生产、性能和使用。

新中国创建以来,科研单位与企业、院校合作,研发出许多特种水泥新品种,其中有些品种已成为重要工业产品,正广泛应用于国家经济建设和国防建设。然而,另一些品种虽曾投入过试生产和试用,但至今已销声匿迹,未能推广。本书着重叙述了大批量生产和广泛应用的特种水泥品种,为保持完整性,对过去研发成功但目前已不用或不常用的品种,也作了扼要介绍。

20 世纪 70 至 80 年代,中国建筑材料科学研究总院在理论研究基础上开发成功硫铝酸盐水泥系列。自开发成功后,硫铝酸盐水泥连续生产和使用至今有 30 多年历史,已成为中国特种水泥不可分割的部分和中国特色的主要象征。与同类书相比,本书的特点之一是全面正确地叙述了硫铝酸盐水泥的理论、生产、性能和使用情况。

改革开放后,国民经济加速发展,对水泥品种不断提出新的要求,一些重要水泥品种标准几经修订,品种名称、技术要求和性能指标等

发生很大变化,本书按现行标准论述特种水泥各品种。进入新世纪后,我国水泥工业生产技术基本实现了向世界最先进的新型干法的划时代转变,同时也推动了特种水泥生产技术的进步。本书中介绍了重点品种在生产技术方面的进步,全面反映了中国特种水泥的最新成就,内容上具有鲜明的时代特征。

发展特种水泥是水泥工业实现可持续发展的重要措施。为此既要进一步推广现有品种,还要不断开发新的品种。在这两方面都有很大发展空间。兴旺发达的特种水泥将使繁荣昌盛的中国水泥工业焕发出更加鲜丽光彩。

中国特种水泥体系是由千万水泥工作者所创建,中国建筑材料科学研究总院从事水泥研究的几代人付出毕生精力,作出了突出贡献,本书是对前人研究成果的一次科学总结。期盼本书的出版能推进特种水泥更好更快地发展。

全书除绪论外设置四个篇章,第一篇特种硅酸盐水泥,第二篇铝酸盐水泥,第三篇硫铝酸盐水泥,第四篇其他类水泥。

在本书编著过程中,得到了水泥行业设计、科研和企业等单位领导和科技人员的珍贵帮助。他们是天津水泥工业设计研究院前院长侯宝荣、中国建筑材料科学研究总院院长姚燕、安徽海螺集团董事长郭文叁、山东山水水泥集团董事长张才奎、湖北葛洲坝水泥厂厂长潘德富、中国建筑材料科学研究总院院长助理颜碧兰、中国建筑材料科学研究总院水泥科学与新型建筑材料研究院副院长文寨军、中国建材南方水泥有限公司副总裁石珍明、中国建筑材料科学研究总院教授级高级工程师成希弼和资深水泥专家周季楠等。在此表示深切感谢。

书中难免有遗漏和差错,望读者批评指正。

作 者

2012年10月

目 录

绪 论	1
第一节 含义与定位	1
第二节 发展史	2
第三节 分类与命名	3
第四节 重要意义	7

第一篇 特种硅酸盐水泥

第一章 特种硅酸盐水泥基础化学理论	11
第一节 矿物组分的形成	13
第二节 主要矿物的水化	20
第三节 矿物的水化特性	23
第二章 大坝水泥	26
第一节 概述	26
第二节 物化理论	28
第三节 中热硅酸盐水泥	34
第四节 低热矿渣硅酸盐水泥	44
第五节 低热硅酸盐水泥	49
第六节 低热微膨胀水泥	52
第三章 油井水泥	56
第一节 概述	56
第二节 物化理论	60
第三节 A 级油井水泥	65
第四节 G 级油井水泥和 H 级油井水泥	67
第五节 D 级油井水泥	70
第六节 普通油井水泥其他品种	72
第七节 关于普通油井水泥生产方法的讨论	76

第八节 特种油井水泥	77
第四章 白色硅酸盐水泥	80
第一节 概述	80
第二节 物化理论	82
第三节 技术要求	86
第四节 生产技术	88
第五节 其他白色水泥	96
第六节 彩色硅酸盐水泥	97
第五章 特种硅酸盐水泥其他品种	100
第一节 核电水泥	100
第二节 道路硅酸盐水泥	102
第三节 抗硫酸盐硅酸盐水泥	104
第四节 膨胀硅酸盐水泥和自应力硅酸盐水泥	106
第五节 明矾石膨胀水泥和明矾石自应力水泥	111
第六节 无收缩快硬硅酸盐水泥(CaO 膨胀剂)	113
第七节 快硬硅酸盐水泥	120

第二篇 铝酸盐水泥

第六章 铝酸盐水泥基础化学理论	125
第一节 矿物组分的形成	125
第二节 主要矿物的水化	127
第三节 矿物的水化特性	129
第四节 矿物特性比较	130
第七章 铝酸盐水泥	131
第一节 概述	131
第二节 物化理论	133
第三节 CA-50 铝酸盐水泥	137
第四节 CA-60 铝酸盐水泥	148
第五节 CA-70 铝酸盐水泥和 CA-80 铝酸盐水泥	151
第八章 铝酸盐水泥其他品种	155
第一节 概述	155

第二节	物化理论	155
第三节	快硬高强铝酸盐水泥	157
第四节	特快硬调凝铝酸盐水泥	159
第五节	膨胀铝酸盐水泥	162
第六节	自应力铝酸盐水泥	165

第三篇 硫铝酸盐水泥

第九章	硫铝酸盐水泥基础化学理论	173
第一节	主要矿物	173
第二节	少量矿物	181
第三节	主要水化产物	183
第四节	单矿物的水化	187
第十章	普通硫铝酸盐水泥	191
第一节	概述	191
第二节	熟料化学	194
第三节	熟料生产	199
第四节	水泥制成	213
第五节	水泥水化理论	218
第六节	快硬硫铝酸盐水泥和高强硫铝酸盐水泥	225
第七节	膨胀硫铝酸盐水泥和自应力硫铝酸盐水泥	239
第八节	低碱度硫铝酸盐水泥(GRC 水泥)	246
第十一章	高铁硫铝酸盐水泥(铁铝酸盐水泥)	253
第一节	概述	253
第二节	熟料化学	254
第三节	熟料生产	256
第四节	水泥制成	259
第五节	水泥水化理论	261
第六节	快硬铁铝酸盐水泥(海洋水泥)和 高强铁铝酸盐水泥	263
第七节	膨胀铁铝酸盐水泥和自应力铁铝酸盐水泥	298
第八节	铁铝酸盐水泥与普通硫铝酸盐水泥的区别	309

第十二章 硫铝酸盐水泥其他品种和应用新领域	312
第一节 其他品种	312
第二节 应用新领域	315

第四篇 其他类水泥

第十三章 特种水泥其他品种	319
第一节 氟铝酸盐水泥	319
第二节 氯铝硅酸盐水泥(阿里尼特水泥)	327
第三节 钡水泥和锶水泥	332
第十四章 无熟料水泥	336
第一节 石灰火山灰质水泥	336
第二节 石膏矿渣水泥	337
第三节 碱矿渣水泥	341
第四节 地聚水泥	342
结束语	344
参考文献	345

绪 论

第一节 含义与定位

中国国家标准 GB/T 4131—1997《水泥的命名、定义和术语》第 2.1.1 项规定，水泥按其用途及性能分为三种：

- (1) 通用水泥，一般土木建筑工程通常采用的水泥；
- (2) 专用水泥，专门用途的水泥；
- (3) 特性水泥，某种性能比较突出的水泥。

在中国水泥界，将专用水泥和特性水泥统称为特种水泥。

特种水泥通过制作成混凝土（或砂浆）用于各种工程，这种混凝土通常称为特种混凝土。

特种混凝土，相对普通混凝土而言，是指具有特种性能的混凝土，有多种制备方法：

(1) 通用水泥中掺入固体或液体外加剂。如喷射混凝土，由通用水泥掺促凝剂制成。

(2) 通用水泥或特种水泥加特殊骨料。如防辐射混凝土，其制备方法之一是采用通用水泥或特种水泥掺大密度骨料或高结晶水骨料。

(3) 采用特种水泥。如制备大体积混凝土时采用中热硅酸盐水泥。

(4) 特种水泥加外加剂。如石油井固井时，按使用要求采用油井水泥与相应的外加剂。

从上可见，特种水泥主要用于制作特种混凝土，但特种混凝土并非全都是用特种水泥制成，还可用通用水泥掺外加剂或特种骨料制成。在施工实践中，由于成本和采购条件等原因，往往首选通用水泥的方案。然而，在大多数特种工程中，采用通用水泥方案制备的特种混凝土性能往往无法达到工程所需的技术条件，必须使用特种水泥制作的混凝土。自 1908 年发明铝酸盐水泥以来，特种水泥不断创新，持续发展，在近代，虽然受到混凝土外加剂的挑战，但从未停止过前进的步伐。实践表明，特种水泥有着不可取代的地位，具有独自的发展空间，是现代社会不可或缺的重要工业产品。

第二节 发 展 史

中国特种水泥的研究可追溯到 20 世纪 30 年代。1932 年王涛被聘任为启新洋灰公司总技师，从而结束了中国水泥工业一直聘用洋人担任总技师的历史。以后不久，王涛应母校校长、著名桥梁专家茅以升先生的邀请，着手研究抗海水侵蚀的水泥新品种，用于建设钱塘江大桥的墩基。通过调整熟料化学组成和水泥组分，王涛很快研制出能满足大桥建设所需的水泥，还亲临施工现场指导水泥使用，取得成功。后来，将这种水泥命名为“抗海水水泥”。王涛曾留学德国，师从世界著名水泥化学家库尔教授，具有深厚水泥化学造诣，因而能在较短时间内研制出抗海水水泥，开创了中国特种水泥研究的先河。

1947 年，王卓然开办的白色硅酸盐水泥厂在上海建成投产，从此开创了中国白水泥生产的历史。该厂装备了 $\Phi 0.93/1.18 \times 20.86\text{m}$ 回转窑，采用重油煅烧熟料，日产水泥近 8 吨。1948 年工厂搬迁到江苏苏州，定名为苏州光华水泥厂，后来成为新中国白水泥生产的发祥地。王卓然在生产过程中发明白水泥熟料的水介质漂白技术，大大改善了水泥的白度，为此获得国家发明奖。

1949 年中华人民共和国成立后，水泥品种和生产技术的研究开发从市场经济中的企业行为改变为计划经济条件下的政府行为，由政府出资组建的科研单位承担。特种水泥的研究单位主要是中国建筑材料科学研究总院。新中国的水泥科学研究是从制定标准和开发新品种起步的。为研究开发新品种，中国建筑材料科学研究总院前身水泥工业研究院设立了品种室和工艺室。王涛时任院长，赵庆杰和缪纪生首任品种室主任和工艺室主任，他们对我国水泥品种发展，发挥了重要作用。中国建筑材料科学研究总院特种水泥的研究与开发经历了以下三个阶段。

(1) 仿造阶段。新中国诞生初期，中共中央在经济领域推行“向苏联学习”的方针。在这种形势下，中国建筑材料科学研究总院自然地仿照苏联技术着手，开始特种水泥新品种的研究开发。20 世纪 50 年代仿造出的产品有快硬硅酸盐水泥、油井水泥和大坝水泥等，它们都成功应用于各种工程。

(2) 开发阶段。在使用过程中发现，一些仿造产品不能全部适

应我国企业生产和工程建设的要求。在这种情况下,中国建筑材料科学研究总院按我国原料特征和使用条件,对特种水泥的研究由仿造转向自主开发。例如:研究铝酸盐水泥时,开始仿照苏联的倒焰窑工艺,后来改用回转窑工艺,取得成功,使铝酸盐水泥能连续生产,满足了大批量使用含铁量较低原料的要求。又例如:按苏联技术条件和质量评定标准,仿造出冷井和热井两个油井水泥品种,但由于我国油井地质条件不同,这两个品种不能满足油田建设需要,中国建筑材料科学研究总院在此基础上开发出 45°C 、 75°C 、 95°C 和 $150\sim 180^{\circ}\text{C}$ 油井水泥系列,并成功应用于各油田建设,为我国20世纪60~80年代自力更生发展石油生产事业作出了贡献。

(3) 创新阶段。中国建筑材料科学研究总院水泥品种研究由仿造阶段走向开发阶段的同时,1958年成立水泥物理化学研究室,刘公诚首任室主任,标志着中国建筑材料科学研究总院的研究工作进入了更深层次。数十年来,该室对水泥熟料化学、水化化学和水泥石结构进行了大量研究,积累了丰硕理论知识,在这基础上发明了硫铝酸盐水泥和高自应力铝酸盐水泥等新品种。中国建筑材料科学研究总院其他研究单位借助物化室的设备和理论知识,开展科学研究,也取得很多成果,中国建筑材料科学研究总院水泥品种研究进入到不断创新的新阶段。

改革开放后实行社会主义市场经济,特种水泥研究由政府行为改为市场行为,研究主体由科研单位转变为科技企业和生产企业。中国建筑材料科学研究总院从事业单位改制为科技企业,使用自有资金和申请国家专项资金开展理论研究和新品种开发。安徽海螺集团、广西渔峰水泥集团有限公司、湖北华新水泥股份有限公司、中建材中联水泥公司和河北唐山北极熊建材有限公司等许多企业都加入到研究开发水泥新品种的行列。企业研究开发水泥新品种的特点是研究与生产相结合,生产是为满足市场需求,研究开发周期短,经济效益高,使品种开发走上新台阶。

第三节 分类与命名

1984年1月17日国家标准局发布了国家标准GB 4131—84《水泥命名原则》,于1985年1月1日开始实施。水泥品种的分类与命

名从此有章可循。

1997 年该标准进行修订, 1998 年 2 月 1 日实施新标准 GB/T 4131—1997《水泥的命名、定义和术语》, 取代老标准 GB 4131—84。

现行国家标准 GB/T 4131—1997 第 2.1.2 项规定, 水泥按主要水硬性物质名称分为:

- (1) 硅酸盐水泥即国外统称的波特兰水泥;
- (2) 铝酸盐水泥;
- (3) 硫铝酸盐水泥;
- (4) 铁铝酸盐水泥;
- (5) 氟铝酸盐水泥;
- (6) 以火山灰性或潜在水硬性材料以及其他活性材料为主要组分的水泥。

按国家标准 GB/T 4131—1997 第 2.1.1 项规定, 上述六类水泥的种别为: 硅酸盐水泥既有通用的也有特种用途的, 属特种用途的称为特种硅酸盐水泥; 铝酸盐水泥为特种水泥; 硫铝酸盐水泥为特种水泥; 铁铝酸盐水泥为特种水泥, 并且是硫铝酸盐水泥类中的一个品种系列; 氟铝酸盐水泥为特种水泥; 以火山灰性或潜在水硬性材料以及其他活性材料为主要组分的水泥, 按中国惯例, 将它们分类于无熟料水泥。

遵照国家标准 GB/T 4131—1997 第 2.1.1 项规定和第 2.1.2 项规定, 特种水泥可分成以下四类:

- (1) 特种硅酸盐水泥;
- (2) 铝酸盐水泥;
- (3) 硫铝酸盐水泥;
- (4) 特种水泥其他品种, 包括氟铝酸盐水泥和氯铝硅酸盐水泥等。

在现有报道中可以看到, 各种水泥分类方法的依据不外乎用途、性能和主要矿物组成。水泥用途由性能所决定, 而性能则由组成所决定, 所以按矿物组成进行分类是科学的, 既揭示了各类水泥间的本质区别, 又表明了本类水泥各品种间的内在联系。

国家标准 GB/T 4131—1997 第 2.2.3 项规定, 专用水泥以其专门用途命名, 并可冠以不同型号。第 2.2.4 项规定, 特性水泥以水泥的主要水硬性矿物名称冠以水泥的主要特性命名, 并可冠以不同型号或

混合材名称。根据这两项规定，对前述四类特种水泥可作进一步细分。

例如：特种硅酸盐水泥可分为：大坝水泥系列、油井水泥系列、装饰水泥系列和特种硅酸盐水泥其他品种系列等，而大坝水泥系列又可细分为：中热硅酸盐水泥、低热矿渣硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥和低热微膨胀水泥等品种。

又例如：硫铝酸盐水泥可分为：普通硫铝酸盐水泥系列和高铁硫铝酸盐水泥即铁铝酸盐水泥系列，而普通硫铝酸盐水泥系列又可细分为：快硬硫铝酸盐水泥、膨胀硫铝酸盐水泥、自应力硫铝酸盐水泥和低碱度硫铝酸盐水泥等品种。

根据国家标准 GB/T 4131—1997 第 2 项规定“水泥的分类和命名原则”，中国特种水泥的分类列于下表所示。

中国特种水泥分类表

类 别	系 列		品 种
特种硅酸盐水泥	大坝水泥		中热硅酸盐水泥
			低热硅酸盐水泥
			低热矿渣硅酸盐水泥
			低热微膨胀水泥
	油井水泥	通用油井水泥	A 级油井水泥
			B 级油井水泥
			C 级油井水泥
			D 级油井水泥
			E 级油井水泥
			F 级油井水泥
			G 级油井水泥
			H 级油井水泥
		特种油井水泥	超深油井水泥
			低比重油井水泥
			膨胀油井水泥
	装饰水泥		白色硅酸盐水泥
			彩色硅酸盐水泥

续表

类 别	系 列	品 种
特种硅酸盐水泥	特种硅酸盐水泥其他品种	核电水泥
		道路硅酸盐水泥
		抗硫酸盐硅酸盐水泥
		膨胀硅酸盐水泥和自应力硅酸盐水泥
		明矾石膨胀水泥和明矾石自应力水泥
		无收缩快硬硅酸盐水泥
铝酸盐水泥	铝酸盐水泥	快硬硅酸盐水泥
		CA-50 铝酸盐水泥
		CA-60 铝酸盐水泥
		CA-70 铝酸盐水泥
	铝酸盐水泥其他品种	CA-80 铝酸盐水泥
		快硬高强铝酸盐水泥
		特快硬调凝铝酸盐水泥
		膨胀铝酸盐水泥
硫铝酸盐水泥	普通硫铝酸盐水泥	自应力铝酸盐水泥
		快硬硫铝酸盐水泥
		膨胀硫铝酸盐水泥
		自应力硫铝酸盐水泥
	高铁硫铝酸盐水泥 即铁铝酸盐水泥	低碱度硫铝酸盐水泥
		快硬铁铝酸盐水泥（海洋水泥）
		膨胀铁铝酸盐水泥
特种水泥 其他品种	氟铝酸盐水泥	自应力铁铝酸盐水泥
		型砂水泥
		快凝快硬硅酸盐水泥
	特种水泥其他品种	快凝快硬氟铝酸盐水泥
		氯铝硅酸盐水泥即阿里尼特水泥
		钡水泥
		锶水泥

本书特种水泥的分类和命名方法有以下特点:

(1) 按国家标准进行分类和命名,具有权威性,可作为特种水泥统一的分类和命名方法。

(2) 按水泥主要矿物组成进行分类和命名,具有高度科学性,有利于研究者进一步开发新品种,便于客户对不同水泥的识别。

(3) 按用途和主要特性进行分类和命名,具有实用性,有利于产品的推广和应用。

(4) 此分类和命名方法揭示了中国特种水泥是一个独立的品种科学体系。

第四节 重 要 意 义

特种水泥与通用水泥相比,有着不同的生产工艺和使用性能,在国民经济发展中发挥着不同的作用,同时也是不可缺少的社会产品。发展特种水泥具有重要意义,因为它是:

1. 国民经济必需的功能材料

石油是涉及国家经济命脉的重要工业产品。油田建设中最主要的任务是油井建设。固井是油井建设工序中最后一步,也是最关键的一步。如果固井失败,历尽艰险打成的油井将全部报废,造成时间和经济方面的巨大损失。为确保固井成功,选择固井材料十分重要,油井水泥则是目前无可取代的油田固井材料。

石化、冶金和水泥等工业广泛采用不定形耐火材料作窑炉内衬。耐火水泥是配制不定形耐火材料的主要组分,是工业生产中必需的配套材料。为延长窑炉内衬使用寿命,从而提高设备运转率和企业效益,耐火水泥发挥着关键性的作用。

2. 资源节约型工程结构材料

20 世纪 50 年代,我国大坝水泥刚试制成功,尚未推广。当时,浙江新安江水电站大坝建设中采取了埋设钢管通水的方法进行坝体内部冷却。河南三门峡水电站建成后,大坝水泥被普遍推广,不再采用钢管通水的冷却方法。相比之下,采用大坝水泥的技术措施可节省大量钢材并降低造价。

采用通用水泥建设的海洋工程,在常年海水浸泡和海风劲吹的

部位，使用 3~4 年后一般就得进行修补。采用快硬铁铝酸盐水泥建设的海洋工程，使用 10 年后仍完好无损，不仅可节省修补材料和相应费用，而且大大提高了海洋工程的安全性。

采用膨胀硫铝酸盐水泥取代通用硅酸盐水泥建造防水工程，不需做防水处理，从而可节省防水处理时所需的材料和人力，并且加快了工程进度。

采用快硬硫铝酸盐水泥时，在冬季施工中不需现场蒸汽养护，在水泥制品生产中不需蒸汽养护工序。取消蒸汽养护的技术措施可节省能源、缩短工期并提高经济效益。

3. 环境友好型工业产品

硫铝酸盐水泥熟料中氧化钙含量较低，生料中石灰石用量减少，使熟料烧成时排出的二氧化碳气体量下降。此外，硫铝酸盐水泥熟料的烧成温度比硅酸盐水泥熟料的低 100℃，因而燃煤所产生的二氧化碳气体量也就减少。两者相加，硫铝酸盐水泥熟料的生产比硅酸盐水泥熟料的生产可减排二氧化碳气体量约 30%。

硫铝酸盐水泥生产中可大量利用废弃的低品位矾土和工业废渣。

白色硅酸盐水泥在施工和使用中不会挥发出有毒气体，是绿色装饰装修材料。

开发和推广特种水泥是水泥行业促进提高社会效益、创建资源节约型与环境友好型社会和可持续发展的重要手段。